



УДК 622.276.53

СРЕДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ УСТАНОВОК ШТАНГОВЫХ ГЛУБИННЫХ НАСОСОВ

SUCKER-ROD PUMPING UNITS EQUIPMENT DIAGNOSING FACILITIES

Бубнов Матвей Владимирович, аспирант каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: m.v.bubnov@urfu.ru, Тел.: +7(922)144-87-05

Зюзов Анатолий Михайлович, д-р. техн. наук, профессор каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: a.m.zyuzev@urfu.ru. Тел.: +7(912)634-83-63

Matvey V. Bubnov, Master student, Department «Electric drive and automation of industrial plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: m.v.bubnov@urfu.ru. Ph.: +7(922)144-87-05

Anatoly M. Zyuzev, Doctor Sc., Prof., Department «Electric drive and automation of industrial plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: a.m.zyuzev@urfu.ru. Ph.: +7(912)634-83-63

Аннотация: В статье приводятся общие сведения о появлении и применении установок штанговых глубинных насосов (УШГН), и дано описание конструкции такой установки, оснащенной станком-качалкой. Рассмотрены два основных способа для диагностики таких установок: динамометрирование и ваттметрирование. Представлены принципы построения диаграмм и необходимые для этого датчики. Описаны устаревшая и современная реализация динамометрической системы (динамографа). Приведен перечень необходимых для поиска неисправностей параметров, которые можно получить как с использованием динамограммы, так и ваттметрограммы. Сделан вывод о направлении дальнейших исследований в данной области.

Abstract: The common information about appearance and application of the sucker-rod pumping units (SRPU) is presented in this paper, and the pumpjack structure description is given. The two main ways of the unit diagnostics - dynamometry and wattmetry are considered. The approaches for dynamometer card building and necessary sensors are submitted. Stale and modern implementation of the dynamometric system (dynamograph) are depicted. List of essential parameters for a fault search by dint of dynamometer and wattmeter cards is set. The conclusion about a further research direction in this field is made.

Ключевые слова: штанговая глубинная насосная установка; штанговый глубинный насос; станок-качалка; динамограмма; ваттметрограмма; динамометрирование; ваттметрирование; датчик усилия; электропривод.

Key words: sucker-rod pump unit; sucker-rod pump; pumpjack; dynamometer card; wattmeter card; dynamometry; wattmetry; force sensor; electric drive.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с появлением в середине XIX века карбюраторного двигателя, нашедшего применение в автомобилях, а затем и в самолетах, потребность в жидком топливе стала быстро возрастать. На смену шахтам-копанкам пришла скважинная добыча нефти. Но извлечение нефти из скважины за счет пластового давления не позволяет полностью использовать её ресурс. Значительно увеличить объемы добычи позволило использование глубинных насосов.

Установки штанговых глубинных насосов (УШГН) появились в конце XIX века и по сей день остаются наиболее распространенным методом добычи нефти. Типовым приводом глубинного штангового насоса является станок-качалка, который преобразует вращательное движение вала двигателя в возвратно-поступательное движение точки повеса штанг. В настоящее время такими установками оснащены более половины скважин на территории России, а некоторых странах их относительное количество доходит до 90%. Непрерывно ведутся работы по совершенствованию технологий добычи нефти,

систем автоматического регулирования, а также методов диагностики технического состояния оборудования. Основными достоинствами УШГН являются: относительно несложный монтаж, возможность подстройки при изменяющемся дебете скважины, довольно высоких КПД. К недостаткам относится повышенный износ плунжерной пары, насосно-компрессорных труб и штанг насоса, а также сложность ремонта глубинного оборудования. Эти факторы обуславливают необходимость своевременного диагностирования и автоматизации контроля технического состояния и режимов работы УШГН.

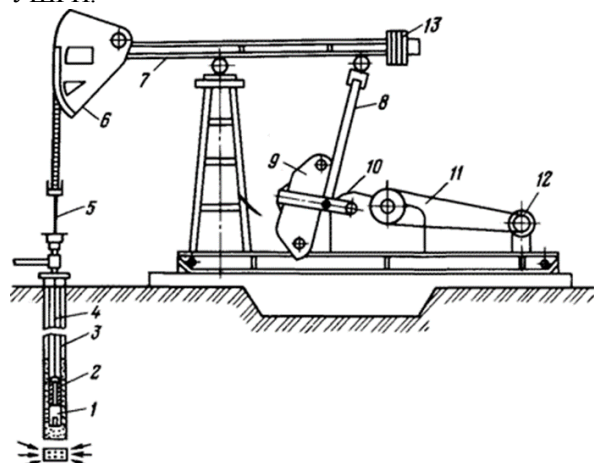


Рис. 1. Общая схема конструкции установки штангового глубинного насоса

В состав установок штанговых глубинных насосов (рис. 1) входит наземное и подземное оборудование. Подземное оборудование включает всасывающий клапан (1), нагнетательный клапан (2), насосно-компрессорные трубы (3), насосные штанги (4). Наземное оборудование – сальниковый шток (5), головку балансира (6), балансир (7), шатун (8), кривошип с противовесом (9), редуктор (10), клиноременную передачу (11), электродвигатель (12), противовес балансира (13) [1].

К известным способам контроля состояния штанговых глубинных насосов (ШГН) относятся: динамометрирование, ваттметрирование, измерение давления и температуры на устье нефтяной скважины, производительности по жидкости и газу, динамического и статического уровня жидкости.

ДИНАМОМЕТРИРОВАНИЕ

Наиболее эффективным из способов остается динамометрирование, то есть построение устьевой (наземной) динамограммы. Динамограмма отражает зависимость нагрузки в точке подвеса штанг от положения полированного штока. Она дает наиболее полную информацию о состоянии глубинного оборудования и о правильности выбранного режима эксплуатации скважины,

кроме того, позволяя оценивать фактический дебит скважины. Информацию о нагрузке получают с помощью датчика усилия, причем точность измерений зависит от места его установки: чем ближе к плунжеру насоса установлен датчик, тем меньше элементов, передающих усилие, будут вносить искажения в передаваемый сигнал. Но установка датчика на подземное оборудование связана с большими трудностями по его обслуживанию, подводу питания и съему информации, поэтому на практике установку производят на шток насоса между траверсами или между верхней траверсой и замками.

Конструкция датчика усилия Loadrol была разработана в 1973 году компанией «Interface» (США) [4]. Она состоит из упругого элемента в виде полого цилиндра и наклеенных на его наружную поверхность тензорезисторов, которые закрыты защитным кожухом. К недостаткам такой конструкции можно отнести сложность монтажа, так как требуется полная разборка траверс канатной подвески, а также аналоговый выходной сигнал, подверженный помехам от мощных электродвигателей и полупроводниковых преобразователей частоты.

Для построения динамограммы помимо данных о усилии необходима также информация о перемещении штока. Её получают с датчика положения, в состав которого входят элементы Холла. Датчики Холла закреплены на выходном валу редуктора и выдают сигнал, когда через них проходят постоянные магниты. Такое положение датчика дает информацию о том, когда шток проходит мертвые точки, простоту установки, а также допустимо к использованию во всех типах приводов УШГН.

Рассмотрим современную реализацию динамометрической системы на примере динамографа ДДС-04 производства НПП «Грант» (Уфа) [5]. Устройство имеет П-образную форму, что позволяет производить его установку без разъединения траверс. Из недостатков такой конструкции можно отметить чувствительность к несоосному положению и перекосам, вызванным приложенной нагрузкой. Система включает в себя датчик усилия ДУ-04, датчик положения ДП-04.01 и оснащена электронной платой с микропроцессором, которая преобразует сигнал, поступающий с тензомоста, в цифровой код. Информация может передаваться по различным цифровым протоколам, включая Modbus RTU, по линии связи RS-485, минимально подверженные помехам. Устройство способно формировать в своей памяти массив динамограмм, анализировать полученные данные и в реальном времени сообщать контроллеру станка-качалки о состоянии оборудования и режиме работы. Контроллер, в свою очередь, осуществляет программное управление скважинами в реальном

масштабе времени, а также защиту по трем фазам электродвигателя по току и отключение электропривода при возникновении аварийных режимов. Вместе с системой поставляется программное обеспечение DinamoGraph, позволяющее диагностировать состояние глубинного оборудования, анализировать режим работы скважины, рассчитывать по динамограммам дебит скважин.

Теоретическая динамограмма нормальной работы насоса имеет форму параллелограмма. Она строится для случая, когда насос исправен и герметичен, цилиндр насоса заполнен несжимаемой жидкостью, погружение насоса под динамический уровень равно нулю, в насосной установке не возникают динамические нагрузки, коэффициент наполнения насоса равен единице. Процесс нагружения и разгрузки штанг изображается наклонными линиями. Горизонтальные линии отражают статическую нагрузку у точки подвеса при ходе вверх и вниз. Если бы при работе станка-качалки на происходило растяжения и сжатия штанг подвеса насоса, тогда теоретическая динамограмма имела бы вид прямоугольника.

Практическая динамограмма работы штангового насоса отличается от теоретической в основном из-за влияния сил инерции и колебательных процессов в колонне штанг. Вследствие влияния сил инерции динамограмма оказывается повернутой на некоторый угол по часовой стрелке, а продольные колебания в колонне штанг вызывают волнообразное изменение нагрузки на устьевой шток. Силы трения направлены противоположно направлению движения насоса, поэтому при ходе вверх они увеличивают нагрузку, а при ходе вниз уменьшают. Практическая динамограмма позволяет определять максимальную и минимальную нагрузки, длины хода штока и плунжера, установить динамические процессы в колонне штанг, выявить ряд дефектов и неполадок в работе УШГН и насоса. При работе насосной установки могут возникать различные сбои, которые приводят к утечкам жидкости в насосе и трубах или снижению коэффициента подачи насоса, что нарушает нормальный процесс приложения нагрузки на устьевой шток. Каждому нарушению нормальной работы насоса соответствует своя характерная форма динамограммы, по которой можно определить характер нарушения, не поднимая насос на поверхность.

На рисунке 2 в наложении с теоретической показаны некоторые типовые практические динамограммы, отражающие различные режимы работы насоса [2]. Динамограмма I показывает нормальную работу глубинного насоса и примерно совпадает с теоретической. II указывает на пропуски жидкости при ходе плунжера вверх.

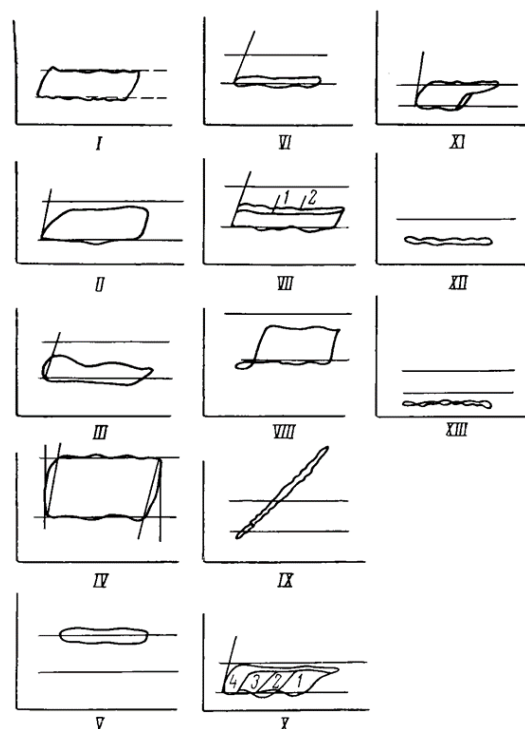


Рис. 2. Практические динамограммы работы УШГН

III указывает на пропуски жидкости при ходе плунжера вниз. IV указывает на пропуски жидкости при ходе плунжера вверх и вниз. V указывает на то, что всасывающий клапан не закрывается. VI указывает на выход из строя узла нагнетательного клапана. Аналогичную форму принимает динамограмма насоса при отвинчивании плунжера или обрыве насосных штанг. VII сигнализирует об утечке жидкости из труб. На VIII при ходе вниз плунжер ударяется об узел всасывающего клапана и дальнейшее движение сальникового штока ослабляет штанги. IX отражает прихват плунжера глубинного насоса. X иллюстрирует недостаточный приток жидкости. XI указывает на попадание газа в насос, в результате чего цилиндр не полностью заполняется жидкостью. Чем больше газа попадает в насос, тем длиннее выступ в верхней правой части динамограммы. Динамограммы XII и XIII указывают на обрыв или отвинчивание штанг. Динамограммы записаны в виде узкой горизонтальной петли. В зависимости от глубины обрыва расположение динамограммы относительно линии теоретического веса штанг различно.

ВАТТМЕТРИРОВАНИЕ

Ваттметрирование позволяет диагностировать работу в основном наземного оборудования. Ваттметрограмма отражает мощность, потребляемую двигателем из питающей сети, относительно времени. Достоинствами ваттметрирования являются: легкое в установке и

обслуживании оборудования, так как необходима только установка измерительных трансформаторов тока и напряжения на фазах двигателя, а также возможность измерения потребляемой приводом электроэнергии и интеграция с автоматизированными системами технического и коммерческого учёта электроэнергии. По ваттметрограмме можно определить степень уравновешенности и КПД УШГН, такие неисправности, как обрывы ремней и штанг, удары в звеньях приводного механизма. Ваттметрирование как средство диагностики УШГН стало применяться раньше, чем динамометрирование. В 1975 году В. О. Кричке было разработано разработаны аналоговые электронные приборы, позволяющие производить обработку ваттметрограмм. Но широкому распространению данного способа помешала низкая вычислительная мощность контроллеров. Исходными данными для дальнейшего анализа служит набор значений активной мощности, потребляемой за один период качания штангового насоса. Из массива данных мгновенных значений тока и напряжения могут быть также получены могут быть получены значения: активной, реактивной и полной мощности, коэффициент мощности, действующие значения токов и напряжений по каждой фазе. Из ваттметрограммы получают спектр, пропуская её через фильтр высоких частот. Спектр позволяет выявить повреждения зубчатых колес редуктора, подшипников, звеньях станка-качалки, а также недостаток смазки. Построив сглаженную ваттметрограмму и определив её разность с исходной, получим шумовую составляющую сигнала, по которой можно установить динамические удары в звеньях механизма. Отношение энергий, затрачиваемых на подъем и опускание штока, которые можно рассчитать по площади под графиком мощности, позволяет определить коэффициент сбалансированности, оптимальная величина которого равна единице. Отношение полной энергии, потребленной из сети, к энергии, затрачиваемой на подъем и опускание насоса, дает КПД установки. Изложенные подходы анализа ваттметрограмм реализованы в станции управления для УШГН, разработанной Пермской научно-

производственной приборостроительной компанией (ПНППК) [6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенный в статье анализ демонстрирует основные направления в развитии средств диагностики установок штанговых глубинных насосов. Но несмотря на достигнутые в этой области результаты, предпосылки к дальнейшему развитию всё еще сохраняются. Сложившиеся тенденции по сокращению количества и повышению надежности используемых датчиков требуют поиска новых способов получения динамограмм, а также более глубокого анализа ваттметрограмм, что стимулирует дальнейшее развитие исследований в данной области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арбузов В. Н. Эксплуатация нефтяных и газовых скважин. Часть 2 / В. Н. Арбузов – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 272 с.
2. Лаврушко П. Н. Эксплуатация нефтяных и газовых скважин / П. Н. Лаврушко, В.М. Муравьев Москва: Недра, 1974. 367 с.
3. Скважинные насосные установки для добычи нефти: учеб. пособие / В. И. Ивановский, В. И. Даритцев, А. А. Сабиров, В. С. Каштанов, С. С. Пекин. Москва: Нефть и Газ, 2002. 824 с.
4. Сравнительный анализ возможностей отечественных и импортных систем автоматизации скважин, эксплуатируемых ШГН / М. И. Хакимьянов, С. В. Светлакова, Б. В. Гузеев, Я. Ю. Соловьев, И. В. Музалев // Нефтегазовое дело. 2008. № 2. С. 1.
5. Тензорезисторный датчик усилия для динамометрирования скважинных штанговых насосов : пат. 2221227 Рос. Федерация / Ковшов В. Д., Емец С. В., Хакимьянов М. И., Павлов О. Б.; патентообладатель ООО «НПП «Грант», 17.04.2002.
6. Хакимьянов М. И. Мониторинг состояния штанговых глубиннонасосных установок по результатам анализа ваттметрограмм / М. И. Хакимьянов, М. Г. Пачин // Нефтегазовое дело 2011. №5. – С. 26.